





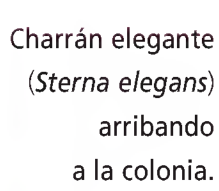
NÚM. 58 ENERO DE 2005

BioDIVERSITAS

PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

ISLA RASA, ESPEJO DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Por su gran cantidad de microambientes, México presenta muchas veces su riqueza biológica encapsulada en paquetes tan pequeños como pocas veces vemos en otras regiones del mundo. Isla Rasa es uno de esos casos y aunque ahí sólo se congregan un par de especies de aves marinas para su anidación, la concentración equivale a 95% de su población mundial.



Charrán elegante (*Sterna elegans*) arribando a la colonia.



Enriqueta Velarde*

Viene de la portada

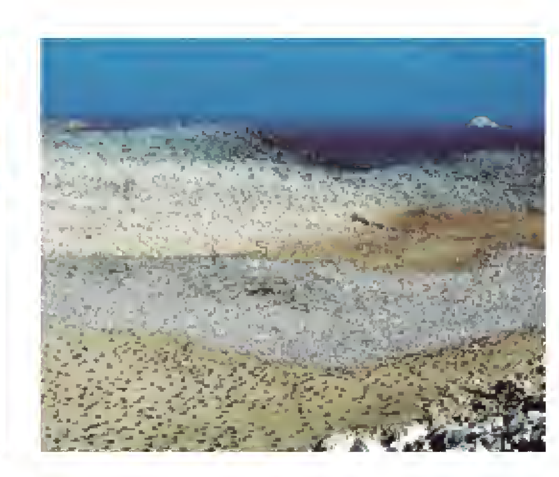
ISLA RASA, ESPEJO DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Se trata de la gaviota ploma (*Larus heermanni*) y el charrán elegante (*Sterna elegans*), con un total de 260 000 y 180 000 individuos, respectivamente, que anidan en esta isla entre fines de marzo y fines de junio de cada año.

El espectáculo de casi 500 000 aves en esta isla de menos de 1 km^2 de superficie es uno de los muchos elementos fascinantes e intrigantes en la biología de estas especies; Isla Rasa es un verdadero refugio natural para sus poblaciones. La isla es muy plana, de donde deriva su nombre; tiene una altura máxima sobre el nivel del mar de sólo 33 m y presenta varios "valles" cubiertos de guano separados por "colinas" formadas de roca volcánica. Esta configuración topográfica la hace ideal para la anidación de cientos de miles de individuos de estas aves, ya que la superficie plana de sus valles permite que aniden en grandes densidades: hasta 110 nidos en 100 m^2 para la gaviota ploma y 1 500 nidos en la misma superficie para el charrán elegante.

La gaviota ploma habita toda la costa del Pacífico, entre el sur de Canadá y Guatemala, y migra todos los años para anidar en Isla Rasa. El charrán elegante habita las costas de Chile y Perú, durante su temporada post-reproductiva. Ambas especies se alimentan de pequeños peces pelágicos, principalmente sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*), anchoveta (*Engraulis mordax*) y macarela (*Scomber japonicus*), en el tiempo que permanecen anidando en Isla Rasa. Estas especies de peces son importantes en la industria pesquera de la región y de México.

En 1979 comencé a hacer observaciones de la conducta y biología reproductiva de la gaviota ploma en Isla Rasa; diez años después había descrito su repertorio conductual y también había visto el efecto puntual de la gaviota





De izquierda a derecha: vista aérea de Isla Rasa; colonia de charranes rodeada de nidos de gaviota ploma; charranes adultos y su pollo.



Gaviota ploma alimentando a su pollo; apareamiento en el centro de la colonia.



pata amarilla (*Larus livens*) en la biología reproductiva, tanto de la gaviota ploma como del charrán elegante (Velarde, 1992), ya que esta especie de gaviota ejerce una presión de depredación muy selectiva sobre los individuos que anidan en ciertas condiciones en algunas zonas de la isla. Por ejemplo, en el caso de la depredación de polluelos de gaviota ploma que anidan en zonas de valles de la isla, la gaviota pata amarilla depreda una menor proporción de nidos a pesar de invertir una mayor parte del tiempo en esta zona. Con ello se demuestra que la anidación colonial a altas densidades, posible en las condiciones topográficas de Isla Rasa, es ventajosa para la gaviota ploma. Así, vimos que la gaviota pata amarilla se comporta de forma adaptativa y de acuerdo con el modelo de distribución libre ideal (Velarde, 1992) en su depredación de polluelos de gaviota ploma, y depreda en forma muy diferente en zonas de valles y de colinas rocosas, de acuerdo con la densidad de sus presas en el espacio que ocupan. También presenta la respuesta numérica (Velarde, 1992) de acuerdo con la disponibilidad de sus presas (los polluelos de gaviota ploma) en el tiempo.

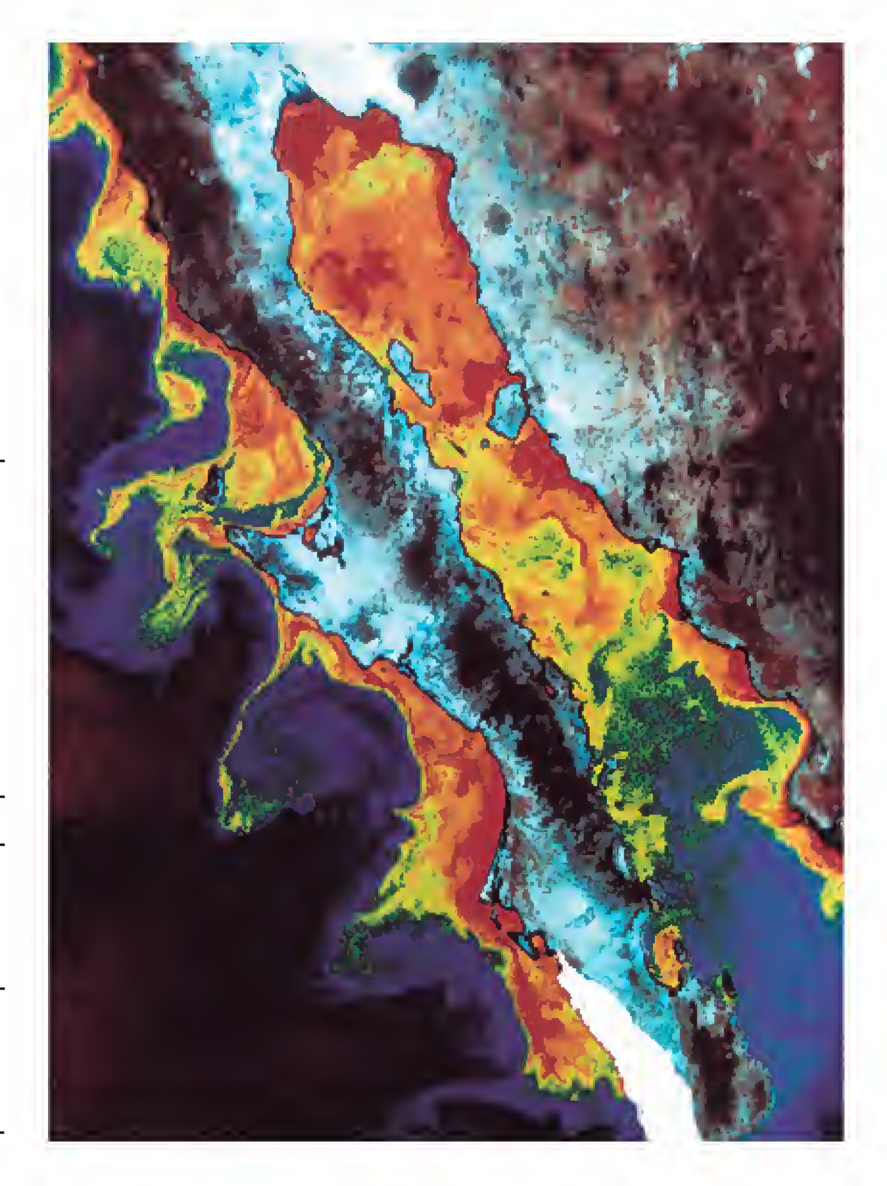
Con tales cantidades de "presas" también pudimos estimar que la pareja de halcón peregrino que ahí vive y se alimenta sólo consume 0.02 % de la población total de estas dos especies (Velarde, 1993), lo que constituye un verdadero banquete inagotable, ya que, debido a la conducta territorial de estas rapaces, su número no aumenta con el tiempo.

A partir de 1983 comenzamos el estudio de la dieta de la gaviota ploma y en 1985 consideramos importante hacer un estudio de la dieta del charrán elegante, que se inició con la importante labor de Marisol Tordesillas para elaborar su tesis profesional (véase más abajo); en 1984 empezamos un programa de anillamiento de ambas especies de aves marinas. Con ello se han obtenido datos respecto a los patrones migratorios y supervivencia de ambas especies, pero principalmente de la gaviota ploma. Hemos encontrado que estas aves regresan a anidar muy cerca del sitio en donde nacieron y por lo tanto los individuos que anidan en una cierta zona de la isla están cercanamente emparentados entre sí. Este hecho debe confirmarse con análisis genéticos de parentesco entre individuos, estudio que tenemos en proceso actualmente, en colaboración con la doctora Laura Márquez, del Instituto de Biología de la UNAM. Además, este parentesco explicaría la conducta de defensa comunal contra el depredador (por ejemplo, contra la gaviota pata amarilla) que presenta la gaviota ploma en sus zonas de anidación, ya que los adultos que la llevan a cabo estarían defendiendo no sólo a sus hijos, sino a los de sus parientes cercanos.

Para 1989, con apoyo de campo de un gran número de estudiantes, ya teníamos conformada una idea bastante completa de las características de la biología reproductiva de la gaviota ploma y de sus interacciones con otras especies, como las rapaces presentes en la isla. Esta información se plasmó, a sugerencia del doctor Rodolfo Dirzo, a manera de un diagrama en mi tesis doctoral (Velarde, 1989). Varias de las interacciones ahí sugeridas se han comprobado y otras están en proceso de ser ratificadas. Por ejemplo, hemos encontrado que la cantidad de alimento y la depredación por parte de la gaviota pata amarilla y el halcón peregrino favore-

Imagen del satélite meteorológico NIMBUS en la que resaltan las áreas de gran productividad en el Golfo de California; las concentraciones más altas de fitoplancton se representan en rojo, seguidas por el naranja, amarillo, azul y violeta.

NOAA/NESDIS Dennis Clark







cen la sincronía de la anidación. También hemos visto que la de - predación de polluelos por parte de la gaviota pata amarilla y la escasez de sitios adecuados para la anidación aumentan la tendencia de los adultos a permanecer casi constantemente en el territorio, protegiendo a su polluelo y defendiendo el territorio. Esta escasez de sitios adecuados para anidar también favorece la tendencia a la filopatría (tendencia de los individuos a regresar a anidar al mismo sitio conocido, año tras año).

También se amplió el conoci - miento de la biología reproductiva del charrán elegante por medio de los estudios que formaron la base para la tesis profesional de Emilio Tobón (1992), que estudió la importancia de la formación de "guarderías" o agrupaciones de polluelos de esta especie, durante la fase más susceptible a la depredación por la gaviota pata amarilla, o a sufrir el robo de alimento por parte de la gaviota ploma, ya que los polluelos que se encuentran en las guarderías sufren una menor tasa de depredación y de robo de alimento, además de que estas agrupaciones son útiles en el proceso de socialización de los polluelos.

Los datos recabados durante un largo plazo y que han producido los resultados más destacados de este proyecto son los referentes al seguimiento de la biología reproductiva y dieta de las aves marinas. Con base en nuestros estudios de dieta observamos un drástico cambio en su composición, en ambas especies de aves. En 1983 la gaviota ploma se alimentaba básicamente de sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) (88% de su dieta), pero para 1989 la sardina conformaba menos de 10% del alimento de esta gaviota y del charrán elegante (Tordesillas, 1992; Velarde *et al*., 1994). La pesquería de sardina es la más importante en México, en cuanto a peso desembarcado se refiere. Nosotros quisimos saber si la dieta de estas aves pudiera reflejar lo que captura la flota pesquera que opera en la región.

La zona donde se alimentan estas aves coincide con la de las operaciones de la flota sardinera del estado de Sonora, que descarga principalmente en los puertos de Guaymas y Yavaros. Además, esta sardina es una especie de pez pelágico menor que sirve de alimento a un gran número de peces mayores (varios de ellos, a su vez, de importancia comercial) y a muchas especies de aves y mamíferos marinos, por lo cual se le puede considerar una especie muy importante en la red trófica de esta región del Golfo de California. Al realizar un análisis de correlación entre las capturas de la flota y la dieta de las aves encontramos coincidencias sorprendentes, pero también vimos que las aves indicaban las fluctuaciones de la composición relativa en la comunidad de peces pelágicos menores, con dos o tres años de anticipación, con respecto a lo reportado por la flota. En aquel entonces (1989-1991), en varias ocasiones quisi - mos prevenir a la industria de la drástica disminución de la población de sardina que las aves estaban indicando, pero no prestaron mucha atención a nuestros resultados, considerando que no teníamos experiencia en cuestiones pesqueras. Diez años después de haber iniciado los estudios de dieta, y coincidiendo con el año de El Niño de 1992, se presentó un colapso de

Charrán real con una sardina recién capturada.



De izquierda a derecha:
charrán alimentando con una sardina a su pollo;
encierro de sardina en la pesca nocturna;
enlatado de sardina en una planta procesadora
en Guaymas, Sonora.

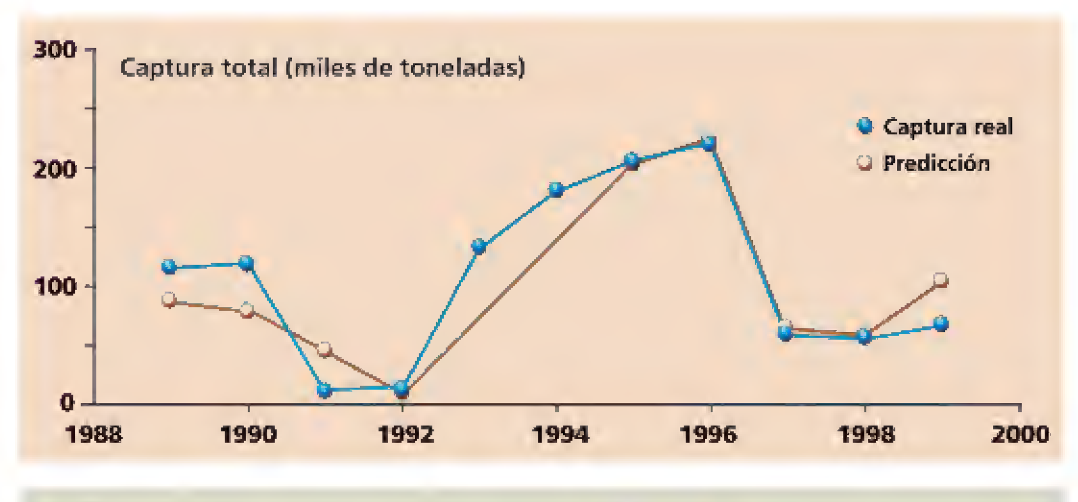
la pesca de sardina que bajó de casi 300 000 toneladas métricas en 1989 a 6 000 en 1992.

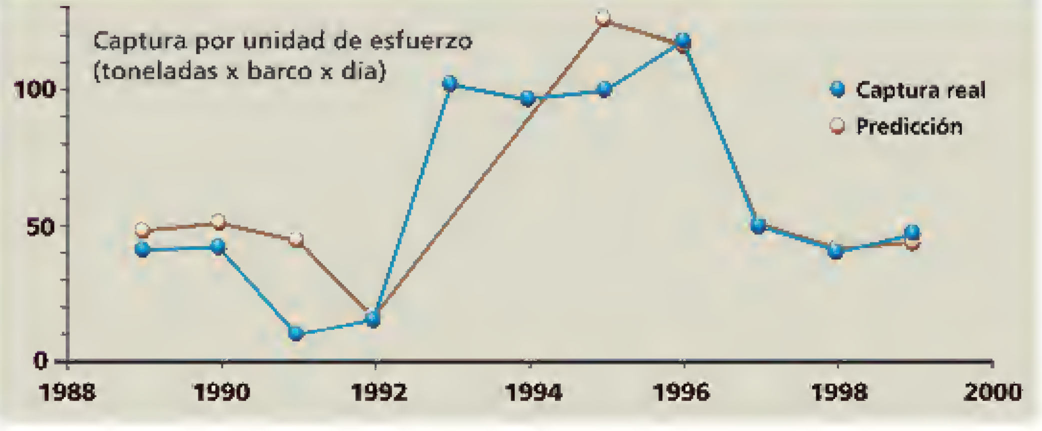
Al cabo de 20 años de hacer un seguimiento de la ecología reproductiva y de la alimentación de la gaviota ploma y el charrán elegante, y de haber presenciado los efectos de tres fenómenos de El Niño sobre la reproducción y dieta de estas especies, comenzamos a ver un patrón específico. En 1999, por medio de un detallado análisis de nuestros datos de esfuerzo y éxito reproductivo de la gaviota ploma y dieta del charrán elegante, junto con datos de la anomalía de la temperatura superficial del agua de la región y del índice de El Niño, acompañados de datos de la captura total y la captura por unidad de esfuerzo de la flota (datos provistos por el doctor Miguel Ángel Cisneros), el doctor Exequiel Ezcurra, actual presidente del Instituto Nacional de Ecología, logró generar dos modelos que predicen la captura total y por unidad de esfuerzo de sardina Monterrey por la flota pesquera de Sonora. Estos modelos proveen una predicción real de gran exactitud, ya que la captura total se podía predecir en 81% y la captura por unidad de esfuerzo en 96% a partir de estos modelos (Velarde *et al*., 2003) (véase la gráfica).

Recientemente nos enteramos del interés de la industria sardinera por certificar esta pesquería. Para ello, uno de los elementos importantes será el poder demostrar que la pesca se está llevando a cabo de manera sustentable. A su vez, para ello se debe contar con una predicción con base en la cual se puedan tomar decisiones para la administración y el manejo de esta pesquería. Por ello, volvimos a revisar el modelo con los datos actualizados hasta el año 2004. Los resultados de esta revisión arrojaron información muy interesante, que será presentada a los industriales con la idea de que se pueda utilizar en el manejo sustentable de este importante recurso pesquero, componente del ecosistema del Golfo de California y, posiblemente, en la certificación de esta importante pesquería.

En estas etapas fue crucial el apoyo y la colaboración de todo el personal del Programa Sardina del Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas, entonces dirigido por el doctor Miguel Ángel Cisneros Mata, así como del director general del CRIP, Hugo Montiel A. Sin embargo, aún había mucho camino por recorrer, debido a que nuestras correlaciones entre la captura comercial y la dieta y reproducción de las aves marinas no eran totalmente satisfactorias, por lo cual no era posible construir un modelo de predicción de la captura comercial de pelágicos menores (el siguiente paso que queríamos dar) con base en estos datos, únicamente. Si hubiéramos logrado generar este modelo de predicción de la captura, quizá se hubiera podido evitar la crisis económica que sucedió al desplome de la pesquería de la sardina, que trajo consigo el desempleo de cientos de pescadores y personal que laboraba en las

Pesquería de sardina en el Golfo de California (1989-1999).
(Captura real y predicciones)







Los charranes elegantes anidan en forma muy compacta, siguiendo un patrón hexagonal, como el de un panal de abejas; así los nidos del centro de la colonia quedan protegidos por los de la periferia.

plantas enlatadoras y harineras, la venta de barcos y la hipoteca de las flotas pesqueras.

Agradecimientos
En este lapso nuestro proyecto recibió varios apoyos, como los otorgados por Conacyt, TNC, CI y Conabio. Este último fue de gran importancia, ya que exigió organizar, sintetizar y analizar una gran cantidad de información que se había venido recabando durante una década y media. Esta labor de organización, síntesis y análisis formó la base para la elaboración de los modelos predictivos generados posteriormente, gracias al apoyo de los programas UCMEXUS de la Universidad de California en Davis y PROMEP, de la Universidad Veracruzana.

Bibliografía

Diario Oficial de la Federación. 1964. Decreto de Creación de la Zona de Reserva Natural y Refugio de Aves de Isla Rasa, Baja California. (30 de mayo).

Tobón García, E.D. 1992. Biología reproductiva de la golondrina marina elegante (*Sterna elegans*) con énfasis en la conducta dentro de las guarderías en la colonia de Isla Rasa, Golfo de California, México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM.

Tordesillas Barnard, M.S. 1992. Dieta del gallito de mar elegante (*Sterna elegans*) durante la temporada de 1985 y 1986 en Isla Rasa, Baja California (Aves: Laridae). Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM.

Velarde, E. 1989. Conducta y ecología de la reproducción de la gaviota parda (*Larus heermanni*) en Isla Rasa, Baja California. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM.

Velarde, E. 1992, Predation of Heermann's gull (*Larus heermanni*) chicks by yellow-footed gulls (*Larus livens*) in dense and scattered nesting sites. *Colonial Waterbirds* 15(1):8-13.

Velarde, E. 1993. Predation of nesting larids by the peregrine falcon (*Falco peregrinus*) at Rasa Island, Gulf of California, Mexico. *The Condor* 95:706-708.

Velarde, E. 1999. Breeding biology of the heermann's gull (*Larus heermanni*) in Isla Rasa, Gulf of California, Mexico. *The Auk* 116 (2):513-519.

Velarde, E., M.S. Tordesillas, R. Esquivel y L. Vieyra. 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *CalCOFI Rep*. 35:137-143.

Velarde, E., E. Ezcurra, M.A. Cisneros-Mata y M.F. Lavín. 2004. Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications* 14(2):607-615.

Villa R., B., A. Treviño, M. Herzig Z., M. Valdez, G. Davis T., M. Monieux y W. López-Forment. 1980. Informe de los trabajos de campo en Isla Rasa, Mar de Cortés, B.C. *Calafia* 4(2):25-30.

*Investigadora del Centro de Ecología y Pesquerías de la Dirección General de Investigaciones, Universidad Veracruzana.
enriqueta_velarde@yahoo.com.mx

Laura Espinosa, Ana Escalante,
Luis Eguiarte y Valeria Souza*

EL MAR EN EL DESIERTO Y SU IMPORTANCIA PARA LA CONSERVACIÓN

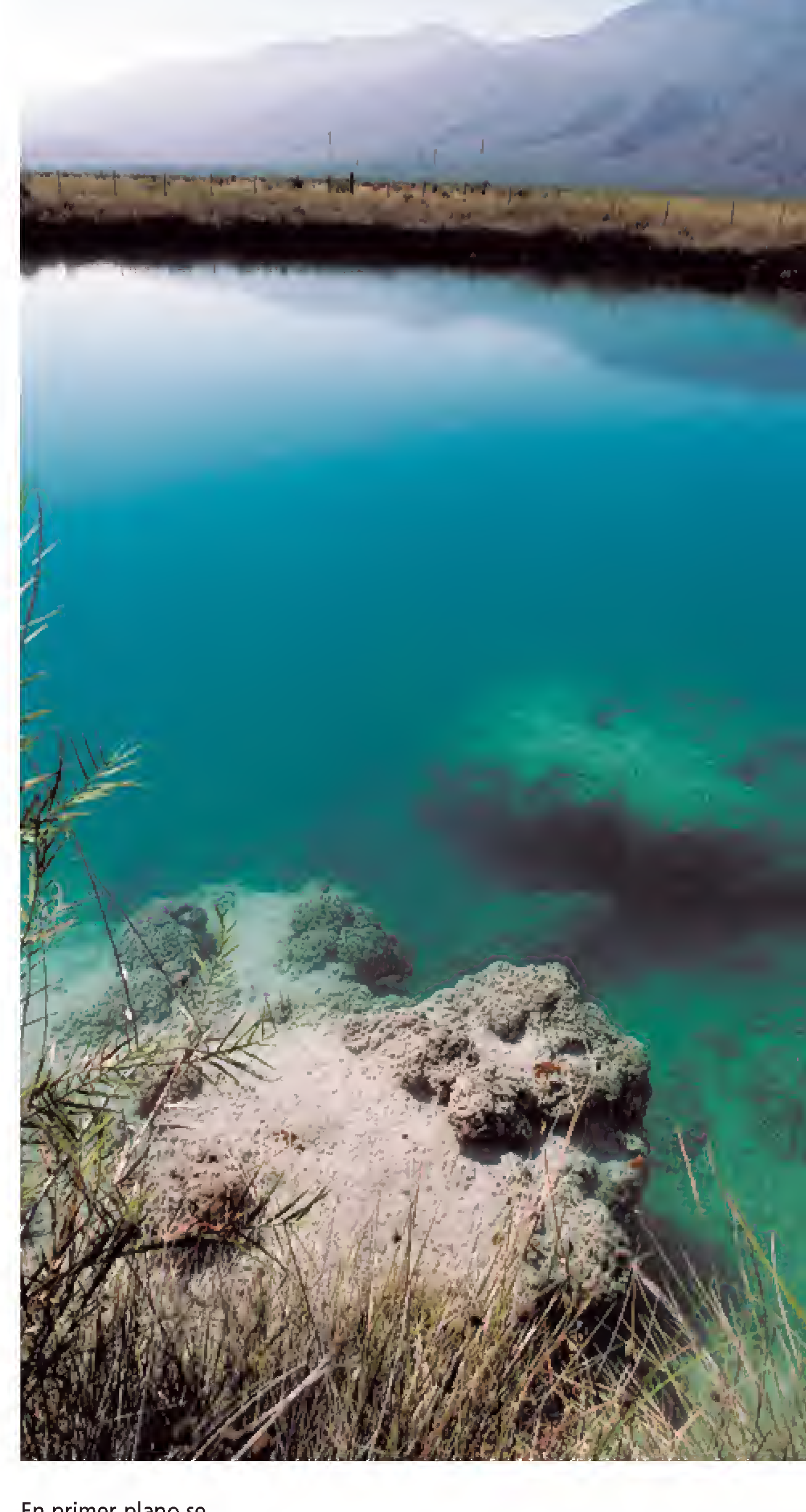
El valle de Cuatrociénegas, localizado en la zona central de Coahuila, se considera el humedal más importante del Desierto Chihuahuense y uno de los más importantes en México. En este valle subsisten una gran cantidad de especies endémicas, por lo que el 7 de noviembre de 1994 fue declarado área natural protegida en la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna.

Además de albergar muchas especies endémicas, el valle de Cuatrociénegas y los valles colindantes tienen particularidades que los hacen sumamente interesantes. Por una parte, se ha encontrado la presencia de bacterias que son características de ambientes marinos, a pesar de su ubicación a 700 km de la costa más cercana. Este tipo de bacterias se encuentra únicamente en zonas donde también existe un origen marino, como el desierto de Atacama o los lagos de la Antártida. Esto, junto con los datos geológicos de la zona, son elementos que sugieren un origen marino del agua subterránea de Cuatrociénegas, lo cual no es de extrañar, ya que la mayor parte del agua del norte de México es de origen fósil y proviene del Protogolfo de México.

Por otra parte, lo que es más extraordinario es que esta señal del mar en el área de Cuatrociénegas continúe presente desde hace 150 millones de años y que comunidades relictas complejas de microorganismos, estromatolitos, caracoles y peces, se mantengan vivas después de tanto tiempo.

Asimismo, el hallazgo de bacterias marinas en el Desierto Chihuahuense realza la importancia de conservar no sólo el valle de Cuatrociénegas, sino los colindantes, en los que también encontramos secuencias de origen marino. Las condiciones para explotar los recursos naturales de Cuatrociénegas y valles vecinos deben ser cuidadosamente controladas, haciendo hincapié en un uso racional del agua en el desierto, si queremos preservar esta increíble riqueza ecológica que funciona como máquina del tiempo biológica para las generaciones futuras.

Cuatrociénegas de Carranza se encuentra al este de la región conocida como altiplano septen-



En primer plano se aprecian los estromatolitos en una de las pozas de Cuatrociénegas.



Nueve especies de peces son endémicos en estas pozas.

Cuatrociénegas
VALLE DE CUATROCIÉNEGAS
SIERRA LA FRAGUA
VALLE EL HUNDIDO
SIERRA LOS ALAMITOS

Imagen de satélite del área de Cuatrociénegas y zonas adyacentes. En el recuadro rojo se indica la zona de la foto aérea de la derecha.

Imagen de satélite: Conabio, Landsat ETM, 23 de febrero de 2000



Cultivo de alfalfa alimentado por riego gracias al bombeo de pozos profundos.

trional o Desierto Chihuahuense, a 80 km al oeste de la ciudad de Monclova, localizado entre los dos macizos montañosos más grandes de México, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental.

La humedad que viene tanto del Golfo de México como del Pacífico es bloqueada por ambas sierras, fenómeno que dio origen al desarrollo de este desierto que cuenta con una precipitación anual de menos de 200 mm. El valle está rodeado por montañas de hasta 3 000 m de altitud, y en promedio tiene una altitud de 740 m, con una extensión aproximada de 40 km de este a oeste y 30 km de norte a sur, y está cortado en dos por la sierra San Marcos y Pinos. Colindan con Cuatrociénegas dos valles en donde se cultiva alfalfa: El Hundido y Calaveras, al oeste y al norte, respectivamente. Existe escasa información sobre la flora y fauna de dichos valles, aunque se sospecha una gran cantidad de endemismos, ya que esta zona del Desierto Chihuahense medio es muy diversa. Sin embargo se sabe que los recursos hídricos principales de estos valles han sido sobreexplotados (la explotación supera la recarga de acuíferos).

El Área de Protección de Flora y Fauna de Cuatrociénegas tiene una superficie de cerca de 85 000 ha, y se localiza entre las coordenadas 26°45′00″ y 27°00′00″ de latitud norte, y 101°48′49″ y 102°17′53″ de longitud oeste. Es parte del municipio de Cuatrociénegas, Coahuila, que cuenta con una población de 13 465 habitantes. Con tan poca precipitación anual la recarga del manto freático por lluvias es muy lenta, por lo que se sospecha que la mayor parte del agua subterránea es de origen fósil y forma un sistema hidráulico complejo con un gradiente de sales y temperaturas. Este sistema es la causa de la existencia de manantiales en el valle de Cuatrociénegas, que a su vez forman arroyos permanentes y áreas inundadas donde se concentra el agua de los manantiales. Casi todos estos ambientes acuáticos tienen agua con pocos nutrientes (casi nada de fósforo) y con altas concentraciones de minerales, sobre todo iones magnesio, sulfato y calcio, que son el resultado de la



Estromatolitos que viven bajo la superficie de una poza.

evaporación y precipitación del sistema cárstico (formación caliza de origen marino que produce cuevas por la acción erosiva o disolvente del agua) formado por carbonato de calcio y yeso.

Los manantiales de Cuatrociénegas tienen una particularidad: en sus aguas casi no se presentan nutrientes libres (como son el fósforo y nitrógeno), por lo que se consideran oligotróficos extremos. Estas características del agua no sólo no permiten el desarrollo de algas, sino que han mantenido intacto un ecosistema primitivo donde la base de la pirámide alimentaria parece estar formada por bacterias. En muchas de las pozas y ríos tanto de agua salada como de agua dulce hay estromatolitos vivos (depósitos de carbonatos construidos por cianobacterias filamentosas en consorcio con comunidades de bacterias y arqueas (grupo de procariontes muy primitivo, en general extremófilo) que son poco comunes en el mundo. La mayor parte de los manantiales se ubican en las faldas de la sierra San Marcos y Pinos, formando alrededor de 200 pozas en el valle de Cuatrociénegas. Las características fisicoquímicas de las pozas son muy variables: la temperatura varía de 18 a 35°C, el pH es de 5.76 a 8.3, la conductividad tiene valores entre 782 mS y 7.52 mS y los sólidos disueltos se encuentran en una concentración de 292 a 3 770 mg/l.

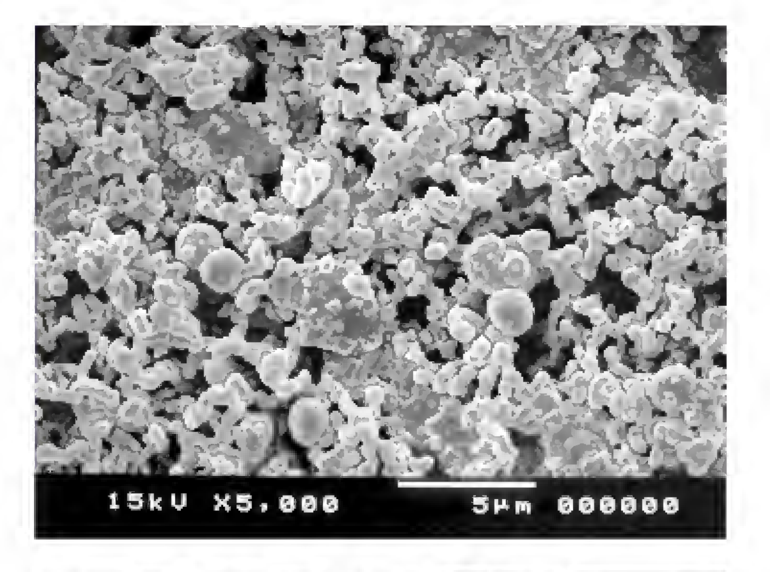
Como resultado de la exportación del agua fuera del valle y de su uso dentro del mismo, se provocaron serios disturbios, como son la interconexión artificial de los manantiales, la disminución de las áreas inundadas y cambios en los niveles de agua en muchas de las pozas. La explotación de agua en otros valles de los alrededores de Cuatrociénegas (como El Hundido y Calaveras) ha sido motivo de preocupación, ya que la escasa información geológica o hidrológica de la zona no ha permitido determinar con claridad las rutas de flujo del agua subterránea, y la sobreexplotación en los valles vecinos podría afectar seriamente esta área natural protegida. De hecho es muy alarmante observar que el nivel de las pozas en Cuatrociénegas ha descendido estos últimos dos años, a pesar de que han sido los más húmedos de los últimos 100.

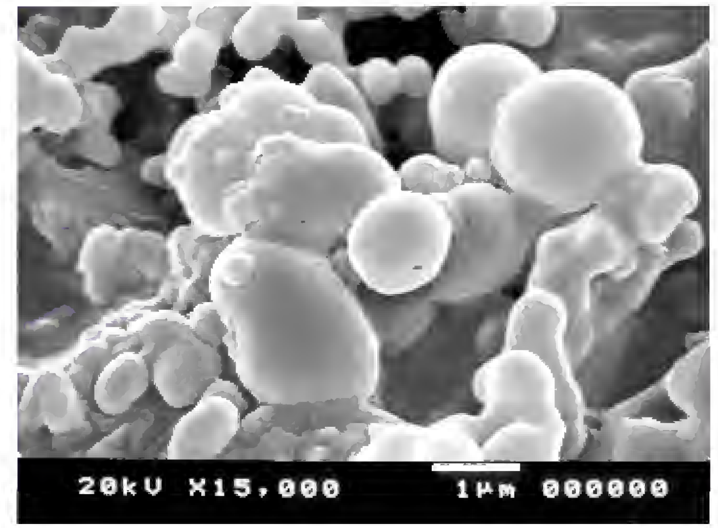
Dadas la dificultad para esclarecer la conexión hidráulica entre los valles y la importancia ecológica de esta Área de Protección de Flora y Fauna hemos sugerido utilizar las bacterias como marcadores del flujo del agua subterránea y superficial en el municipio de Cuatrociénegas.

Hasta ahora no existen antecedentes de otros estudios con información sobre las comunidades bacterianas en ambientes acuáticos del valle de Cuatrociénegas y de los valles vecinos. Muchos de los estudios de bacterias que han sentado las bases para el desarrollo de la microbiología han sido sobre cultivos puros, pero hoy sabemos que las bacterias cultivables son sólo una pequeña parte de las que existen en la naturaleza.

Los métodos moleculares desarrollados en la última década han permitido el estudio de comunidades bacterianas no cultivables que han mostrado un asom-

Fotomicrografías a dos resoluciones diferentes de las cianobacterias filamentosas que componen los estromatolitos.









Millones de años de evaporación han provocado la cristalización del yeso disuelto en el agua que se ha acumulado en las orillas y ha sido acarreado por el viento para formar espectaculares dunas de un deslumbrante color blanco.

broso número de linajes filogenéticos, así como tipos ecológicos dominantes de bacterias y arqueas desconocidos para los estudios basados en cultivos. Gran parte de estos trabajos se basan en la secuencia del gen 16S ribosomal, que ha sido elegido para clasificar distintos tipos de organismos gracias a que está presente en los tres dominios de la vida reconocidos actualmente: Bacteria, Archaea y Eucarya. El ADN 16S es una molécula muy interesante ya que contiene información para ensamblar la maquinaria de producción de proteínas en el ribosoma. Sin embargo, su gran utilidad taxonómica se basa no sólo en su función esencial sino en que tiene regiones altamente conservadas y regiones con variación considerable en su secuencia, por lo que se pueden detectar grupos taxonómicos a diferentes niveles (reino, familia, género, etc.) con un mismo marcador para prácticamente todos los seres vivos. Hasta ahora la clasificación de los microorganismos se ha basado principalmente en estas secuencias del gen 16S ribosomal.

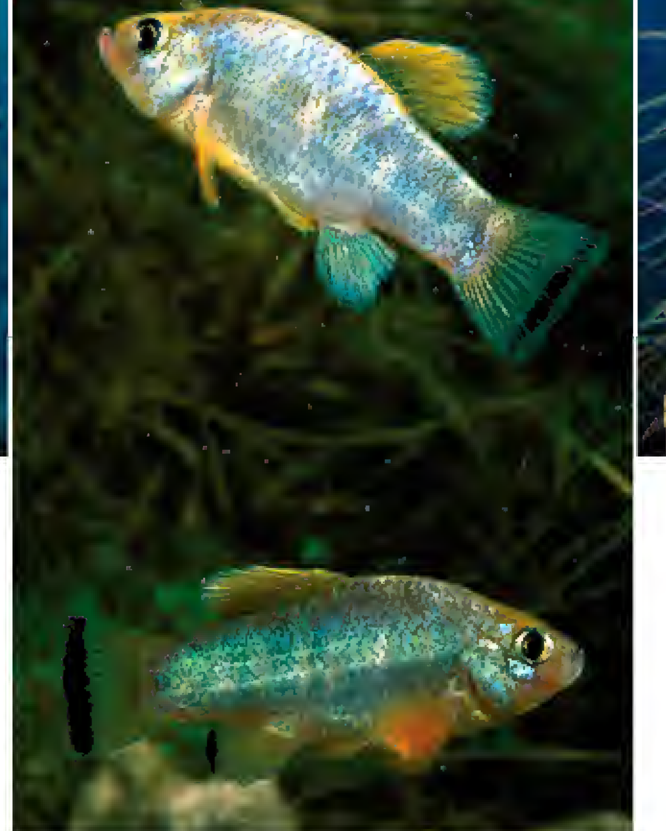
Esto es especialmente importante en las especies no cultivables de microorganismos de los cuales sólo se puede obtener su firma genética, ya que la microscopía no nos ayuda a distinguir grupos dentro de las bacterias y arqueas. Para obtener la firma genética de un microorganismo lo que se necesita es aislar el ADN del ambiente, amplificar la señal del gen de interés (en este caso el 16S ribosomal) utilizando un método llamado PCR (Polimerase Chain Reaction) que copia muchísimas veces el gen que queremos utilizando la maquinaria genética de una bacteria termófila (TAQ) y un muy eficiente manejo de la temperatura de reacción. Una vez que se amplifica nuestro gen, queremos separar las copias de los miles de organismos que fueron juntados en nuestra muestra de ADN. Para hacer esto requerimos la maquinaria bacteriana de *Escherichia coli* recombinante, que va a tomar una sola hebra de nuestro gen y copiarlo por separado millones de veces para que nosotros podamos secuenciarlo. A esto se le llama "clonoteca".

A partir de muestrear el agua de manantiales en Cuatrociénegas, pozos en los valles El Hundido y Calaveras y una muestra de agua de la mina el Rosario, y de aislar ADN de esta agua y obtener clonotecas de cada uno de los sitios, se obtuvieron 98 secuencias parciales del gen 16S ribosomal, las cuales se compararon con secuencias conocidas del GenBank utilizando el programa BLAST. Con estos datos se asignó a cada clona su afiliación taxonómica aproximada. Se encontraron 38 "especies" diferentes a partir de las clonas. Para entender su origen buscamos qué secuencias son más parecidas a las nuestras en las bases de datos, y de acuerdo con esto le asignamos un origen y un género posible a nuestra secuencia.

Para comparar nuestro estudio con otros seleccionamos nueve artículos con las siguientes características: estudios con metodologías similares (principalmente que hicieran clonas ambientales del 16S), con un registro en GenBank de las secuencias reportadas en los artículos, y que fueran representativos de distintos hábitat: cuerpos de agua similares a Cuatrociénegas, y otros diferentes. Estas secuencias de la literatura se trataron de igual manera que las nuestras, y obtuvimos que los artículos enfocados al estudio de bacterias marinas que-



Un espeleólogo subacuático del grupo italiano de La Venta —que ha llevado a cabo estudios para entender el complejo sistema subterráneo de Cuatrociénegas— ha encendido sus lámparas antes de iniciar una exploración en Pozas Azules.



dan agrupados junto con nuestro estudio, y son significativamente distintos del grupo de artículos en sitios no marinos (incluidos aquí los lagos salados).

De esta manera hemos demostrado que es posible rastrear el origen de las bacterias utilizando para ello análisis de las firmas genéticas como el que aquí presentamos.

Agradecimientos
Gracias a la Conabio (Proyecto AE015), NASA (NCC2-1051), Conacyt/ Semarnat (C01-0246), por el financiamiento. A Antonio Cruz, Aldo Valera y Rodrigo González por su ayuda técnica.

Bibliografía

Conabio (página web): www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_049.htm

Elser, J.J., J.H. Schampel, F. García-Pichel, B.D. Wade, V. Souza, L. Eguiarte, A. Escalante y J.D. Farmer. (En prensa). Effects of phosphorus enrichment and grazing snails on modern stromatolitic microbial communities. *Freshwater Biology*.

Hill, G.T., N.A. Mitkowski, L. Aldrich-Wolfe, L.R. Emele, D.D. Jurkonie, A. Ficke, S. Maldonado-Ramírez, S.T. Lynch y E.B. Nelson. 2000. Methods for assesing the composition of soil microbial communities. *Applied Soil Ecology* 15:25-36.

Minckley, W.L. 1969. *Environments of the Bolsón of Cuatrociénegas, Coahuila, Mexico, with special reference to the aquatic biota*. University of Texas, El Paso Science Series. El Paso, Texas Western Press.

Winsborough, B.M. y J.S. Seeler. 1984. Diatom epiflora, limnic stromatolites and microbial mats. The relationship of diatom epiflora to the growth of limnic stromatolites and microbial mats. *8th Diatom Symposium*, pp. 395-407, láms. 1-4.

Winsborough, B.M. 1990. Some ecological aspects of modern freshwater stromatolites in lakes and streams of the Cuatrociénegas basin, Coahuila, Mexico. Doctoral Dissertation, University of Texas, Austin.

Woese, C.R. 1987. Bacterial evolution. *Microbiol. Rev*. 51:221-271.

Woese, C.R., O. Kandler y M.L. Wheelis. 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 87:4576-4579.

A la izquierda: especie endémica de cíclido.

Arriba: seis especies de crustáceos son endémicas de las pozas de Cuatrociénegas.

*Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental, Instituto de Ecología, UNAM.
souza@servidor.unam.mx

ENTREVISTA A JORGE SOBERÓN, SECRETARIO EJECUTIVO DE LA CONABIO, POR FULVIO ECCARDI

LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

¿Se puede hacer conservación de la biodiversidad fuera de las áreas naturales protegidas?
La respuesta está llena de matices, es un tema complicado. Claro que las áreas protegidas son importantes, y que en ellas vamos a conservar especies muy sensibles a cualquier régimen de manejo; sin embargo, estas áreas no son suficientes para conservar otras cosas. Las áreas protegidas tienen la enorme desventaja de que están basadas en el patrón de la biodiversidad tal como lo vemos en este momento, pero la diversidad es fluida y se mueve tanto en el tiempo como en el espacio, y lo que ahora vale la pena proteger tal vez no sea necesariamente lo mismo que habrá que proteger dentro de algunos años.

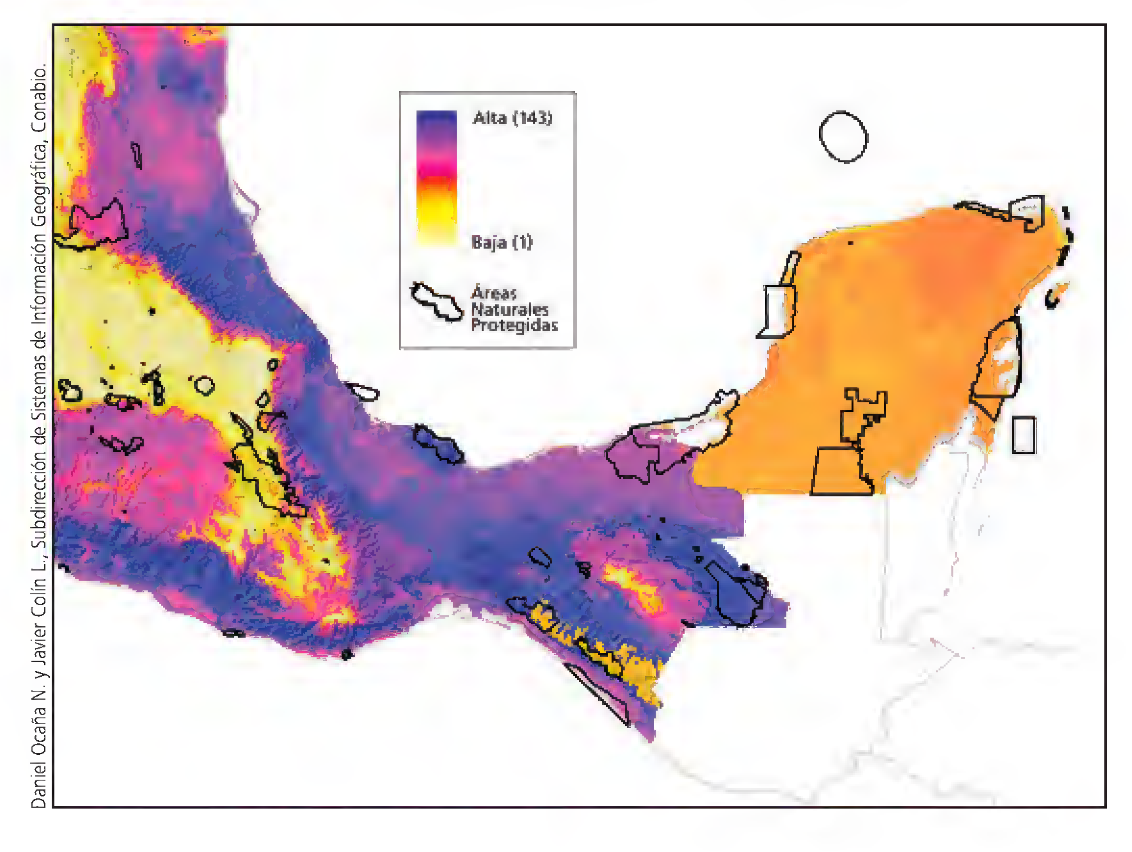
Sólo 10% de la superficie del planeta está incluida en áreas naturales protegidas

En un estudio reciente que realizó en todo el mundo Conservation International, al mapa de las principales áreas protegidas —las que están registradas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza— se sobrepusieron estimados de las áreas de distribución de los principales grupos de especies de mamíferos, reptiles, anfibios y aves. Se llegó a la conclusión de que sólo 10% del planeta es lo que ahora está protegido y eso es completamente insuficiente, bajo un esquema de parques, porque muchas especies quedan fuera de el área protegida. El estudio concluye que hay que proteger más áreas. Pero uno puede verlo de otra manera: creo que sería mejor tratar de ser menos destructivos y aprender a coexistir con la diversidad, y en lugar de seguir expandiendo la frontera agropecuaria, tratar de concentrar la producción utilizando cambios tecnológicos adecuados. La buena noticia es que eso sí se puede hacer y estamos rodeados de ejemplos.

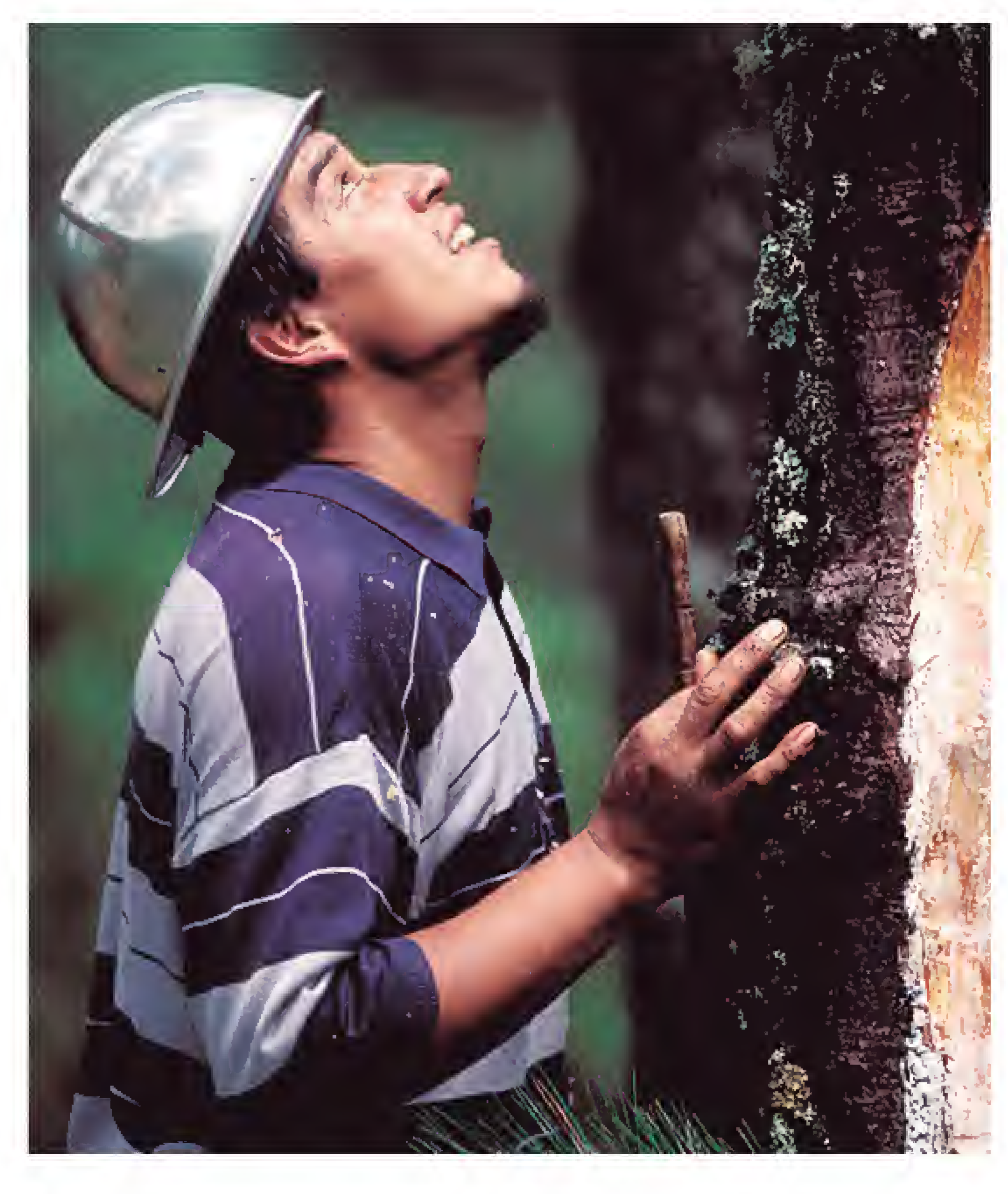
¿Estás hablando de un manejo sustentable de los recursos?
No sólo del manejo sustentable, también de la creación de paisajes diversificados donde haya espacio para nosotros y también para las especies. Tenemos que modificar el paradigma que conduce a los paisajes como los de Iowa o Kansas, en Estados Unidos, de miles y miles de hectáreas de una sola especie, sea maíz, trigo o cualquier otro cultivo, en donde no hay espacio para nada más. Tenemos que abandonar esas agriculturas basadas en multimillonarios subsidios a prácticas agropecuarias no sustentables, que degradan la biodiversidad. Afortunadamente hay conciencia de esto, no creas que estoy hablando de locuras de los ecólogos; grandes compañías están pensando en este tipo de cosas.

Por ejemplo, la práctica del manejo integrado de plagas, que es un método para lidiar con ellas que no está basado en la utilización indiscriminada de agroquími-

Mapa de riqueza potencial de 175 especies de mariposas diurnas de las familias Papilionidae y Pieridae.



Daniel Ocaña N. y Javier Colín L., Subdirección de Sistemas de Información Geográfica, Conabio.



El buen manejo silvícola que realiza la comunidad indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, en Michoacán, es un ejemplo reconocido en el ámbito internacional.

cos sino que los va utilizando puntualmente conforme hace falta, y que más bien se basa en rotación de cultivos, utilización de especies asociadas que reducen el impacto de las plagas, liberación de ciertos controles biológicos o estímulos de los controles biológicos naturales. Para ello se requiere agricultores más metidos en su campo, como los de los países en desarrollo. Un campesino vietnamita se mete literalmente en el lodo de su campo y conoce los bichos que hay ahí y sabe muy bien cuáles pueden afectar o no a su arroz. Un agricultor que está metido en una cabina con aire acondicionado de un tractor mecanizado y que maneja mil hectáreas, difícilmente puede hacer un manejo integral de plagas.

Otra posibilidad es poner en práctica lo que se conoce como agricultura sin arado, en la que en lugar de usar un arado que rompe el suelo y altera por completo el ecosistema se usan coberturas vegetales para mantener la humedad y el suelo, y así se aumentan la captura de agua, la fertilidad del terreno y la diversidad biológica del suelo, y se disminuye el riego. Un país donde se practica esta agricultura, en cientos de miles de hectáreas, es Brasil, que es una nación agroindustrial por excelencia donde estos procedimientos no se utilizarían si no fueran económicamente viables.

Ahora veamos la cuestión forestal; en un extremo tenemos las plantaciones forestales, que son siempre clones de una sola especie y en las que hay que invertir recursos, energía y sustancias químicas para mantenerlas, porque ir en contra de la diversificación es como ir un poco contra la gravedad: siempre hay que proporcionarle energía; no se puede elevar un avión si no se usa energía, no se puede mantener simplificado un ecosistema si no se le agrega energía, porque la naturaleza en general tiende a la diversificación.

¿Qué alternativa existe?

En México tenemos de los mejores ejemplos de manejo forestal diversificado, como el del Plan Piloto Forestal en Quintana Roo, la experiencia de San Juan Nuevo Parangaricutiro, en Michoacán, ambos citados como ejemplos en la literatura científica anglosajona. Otro ejemplo es el cultivo rústico de café, bajo la sombra de una gran variedad de árboles, que evita la erosión, mantiene la diversidad biológica y al mismo tiempo es un cultivo productivo. La agricultura orgánica es otro ejemplo más, donde se ve cómo un sector puede ser productivo, aprovechar la globalización y al mismo tiempo ser menos dañino con la naturaleza.

La otra cuestión es cómo se deberían ver los paisajes. Tenemos ejemplos muy interesantes en Europa, como en Suecia, Francia o España, con grandes espacios de muchos miles de kilómetros cuadrados donde están las granjas, espacios para el manejo forestal, áreas dedicadas a la conservación, las que se destinan a cotos de caza, y el resultado es un paisaje diversificado en el que hay mucha vida.

Entonces es una cuestión de visión, pero también es una cuestión de incentivos, es una cuestión política

Es una cuestión de visión, de aplicaciones tecnológicas, pero sobre todo es una cuestión de cambio social, de la manera de hacer las cosas y de lo que los consumidores exigen. Los subsidios que se destinan a la agricultura insustentable en Europa y Estados Unidos son del orden de los 300 000 millones de dólares al año. Eso tiene

México es el primer productor del mundo de café orgánico certificado.



que ir cambiando. Yo creo que la apuesta para este siglo es cómo el ser humano, sus sociedades, sobre todo las más industrializadas, dan el cambio hacia una coexistencia con la biodiversidad. En el mundo en desarrollo, las sociedades tradicionales y campesinas han acumulado, a lo largo de muchos años, el conocimiento de cómo hacerlo. Creo que sociedades como la mexicana deberían subsidiar a sus agricultores tradicionales por estar manteniendo un bien público (la agrobiodiversidad), porque sería aberrante mantener los cultivos que dependen de la cantidad de productos químicos tóxicos que se les pone y de invertir grandes cantidades de energía, cuando la naturaleza es igual o más productiva cuando se logra hacer las cosas de acuerdo con sus ciclos.

Pero también los monocultivos agrícolas o forestales se han ido imponiendo por las ganancias a corto plazo *versus* la otra manera de producir las cosas, con una visión más de largo plazo y con menos beneficios económicos inmediatos

Es una cosa bien sabida que no faltaría comida si la distribuyéramos bien. Todo el mundo comería bien. Es cuestión de remover las barreras económicas y sociales y, por supuesto, hay intereses gigantescos que impiden hoy que esas cosas se hagan de otra manera. Si la Comunidad Económica Europea en lugar de estar subsidiando producciones agrícolas insustentables dejara de hacerlo, bajara su productividad y permitiera que los alimentos producidos en países del Tercer Mundo llegara a ellos estaríamos disminuyendo la pobreza casi de manera automática. Es también una cuestión de decisiones políticas. Sin embargo, poco a poco la gente va tomando conciencia de las bondades de la producción que se obtiene de manera más amigable con la naturaleza. Todo cambia. Todo va a ser diferente dentro de 70 años, y lo que queremos es que sea diferente, pero en el sentido correcto.

En esta nueva visión, ¿es posible conciliar el conocimiento moderno científico con el tradicional?

Creo también que otra de las cosas que vamos a ver en el futuro es una integración de las diferentes formas de conocimiento. El conocimiento científico es muy poderoso ya que posee una serie de características que lo hacen único, es universal, trata de ser abstracto, pero también por lo mismo puede ser muy inadecuado para situaciones locales. Los conocimientos locales de quienes han absorbido una forma de vivir la naturaleza porque nacieron ahí son más relevantes para las cuestiones locales que grandes abstracciones generales.

Un científico que es razonablemente humilde puede aprender mucho de sus contrapartes campesinas y los dos pueden establecer una relación positiva. Vamos a ir viendo una cierta síntesis de la forma de conocer abstracta, teórica, universalizante del conocimiento occidental con las formas locales, probablemente mucho más orientadas a los valores y las necesidades personales, espirituales, filosóficas o culturales de los habitantes locales.

La idea bíblica de que el hombre fue creado por encima y diferente de la naturaleza es algo muy profundo que está casi metido en los genes de muchos de los que nacimos en la cultura occidental.



Elaboración de cajones para las abejas en el ejido de Noh-bec, que se ha distinguido por el impecable manejo de su área forestal.

Debemos retomar una visión en la que la especie humana forma parte de un todo y, por ejemplo, que hasta matar una mosca no es algo que deba hacerse a la ligera utilizando insecticidas; que si no queremos moscas hay que manejar de manera adecuada la basura que las genera. Debemos rebasar esa actitud negativa de que todo lo que me estorba lo mato, lo excluyo o lo mando a una reserva.

¿Y los servicios ambientales?

Es un punto muy importante. Nuestra forma de ver la economía también tiene que cambiar, vamos a tener que "internalizar" el valor económico de los servicios que nos presta la naturaleza. Lo más curioso es que ya se hacen estos ejercicios económicos: el INEGI tiene unas cuentas paralelas del producto interno bruto de México donde se toman en cuenta dos pequeñas cosas: agua y suelo. Nuestro producto interno se ve bien distinto hacia la baja cuando tomamos en cuenta cómo estamos perdiendo agua y suelo. En el futuro los cálculos del estado económico de los países va a incluir la situación y las tendencias del medio ambiente.

¿Cuál es la aportación de la Conabio en construir esta nueva visión?

Estamos iniciando el segundo estudio nacional de biodiversidad. El primero, que se publicó en 1998 fue bueno, pero estuvo basado en patrones, más que en funciones, y cuando no contábamos con todas las herramientas de informática que ahora tenemos. Lo que queremos es una visión de la diversidad un poco más orientada a la función; es decir, nos interesa proteger determinada región porque ahí hay muchas especies, sí, pero qué tal si las fuentes de los ríos que pasan por ahí están a 1 000 kilómetros, y son parte de la función completa. Hay que tomar en cuenta el sistema completo. O bien vamos a proteger este pedacito de tierra que está aquí porque en invierno se llena de especies migratorias, pero estas especies vienen de 10 000 kilómetros de distancia: ¿qué pasa entonces allá? Tenemos que pasar a una fase más ambiciosa y más complicada donde se tomen en cuenta lo dinámico, lo funcional, lo global. Si en Chiapas protegemos los quetzales, pero el bosque de niebla donde viven se va a secar por el cambio climático, evidentemente algo falla. Hay que pasar a un nivel más difícil y complicado de la conservación.

Además el estudio de 1998 fue elaborado casi exclusivamente por la Conabio; ahora queremos hacer una convocatoria nacional para realizar un trabajo de gran envergadura con esa orientación más funcional, más dinámica, que podamos usar para principios del siguiente sexenio y en donde haya amplia participación. La función de la Conabio es aportar a la sociedad de México elementos sólidos y suficientes para que tome sus decisiones sobre biodiversidad. Yo realmente creo en el ciudadano educado, el ciudadano libre de tomar sus decisiones, y si la Conabio puede poner su grano de arena dando mejor información sobre la situación y los escenarios de la biodiversidad, entonces la ciudadanía (y el gobierno) podrán escoger mejor. Una ciudadanía bien informada está en condiciones de exigir a sus gobernantes que tomen las decisiones adecuadas. Una ciudadanía mal informada ni siquiera sabe qué es lo importante y lo que no lo es.

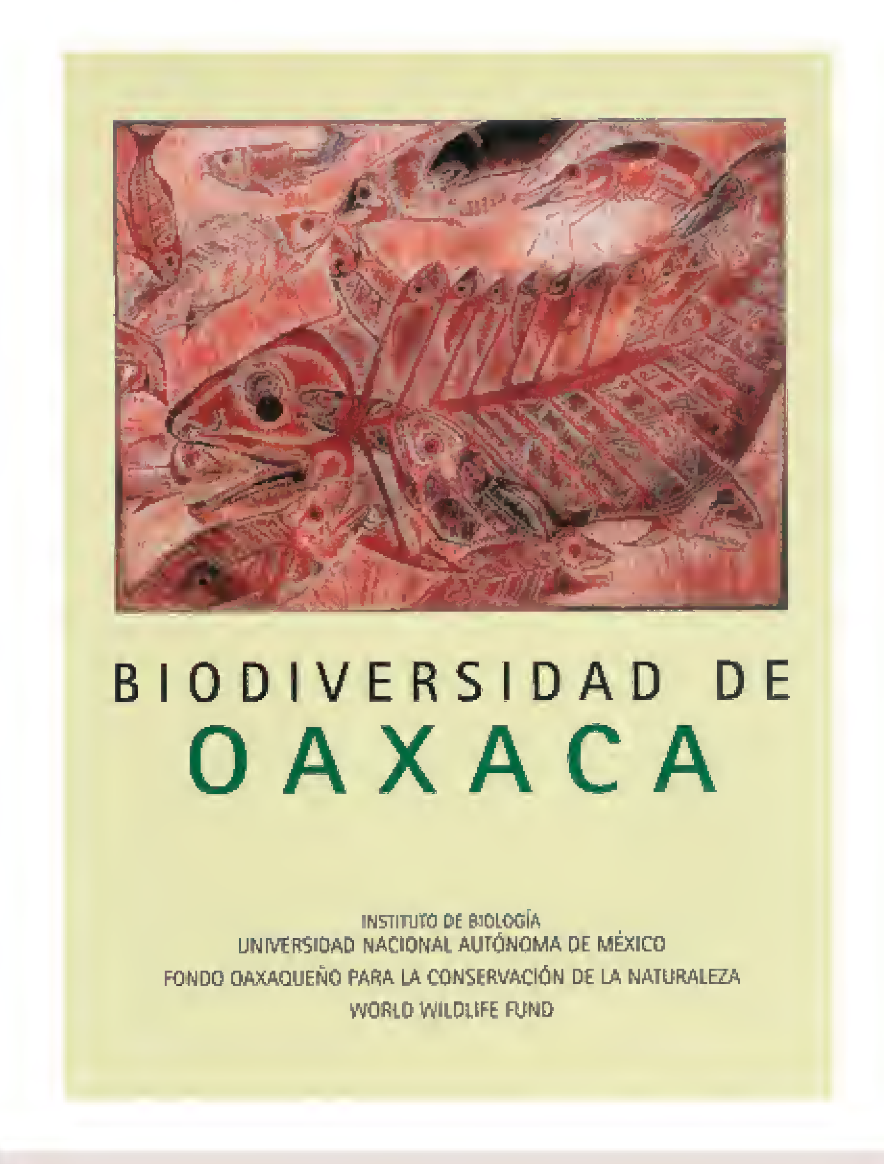
Biodiversidad de Oaxaca

El propósito fundamental de este libro es difundir la información sobre la riqueza biológica y algunos aspectos de la complejidad cultural del estado y hacerla accesible a todos los interesados en el conocimiento y la conservación de sus recursos bióticos. Los textos fueron redactados en un lenguaje comprensible por especialistas en las respectivas áreas.

Sin duda la obra será de utilidad tanto para la sociedad en general como para el sector educativo medio y superior, así como fuente de consulta imprescindible para los gobiernos municipales, estatal y federal.

Los 33 capítulos que la integran obedecen a una selección de grupos de flora y fauna presentes en la entidad que tienen importancia biológica, económica o cultural; otros más se refieren al ambiente físico y también se incluyen textos en los que se explica la utilidad de esos recursos.

Biodiversidad de Oaxaca es una publicación del Instituto de Biología de la UNAM, el Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y el World Wildlife Fund.



La CONABIO tiene un centro de documentación e imágenes con libros, revistas, mapas, fotos e ilustraciones sobre temas relacionados con la biodiversidad; más de 3 000 títulos están disponibles al público para su consulta. Además distribuye cerca de 150 títulos que ha coeditado, que pueden adquirirse a costo de recuperación o donarse a bibliotecas que lo soliciten. Para mayor información, llame al teléfono 5528-9172, escriba a cendoc@xolo.conabio.gob.mx, o consulte los apartados de Centro de Documentación y de Publicaciones en la página web de la CONABIO (www.conabio.gob.mx).



COMISIÓN NACIONAL
PARA EL CONOCIMIENTO
Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

La misión de la CONABIO es promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

SECRETARIO TÉCNICO: Alberto Cárdenas Jiménez
COORDINADOR NACIONAL: José Sarukhán Kermez
SECRETARIO EJECUTIVO: Jorge Soberón Mainero
DIRECTORA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS: Ana Luisa Guzmán

Registro en trámite.

COORDINACIÓN Y FOTOGRAFÍAS: Fulvio Eccardi ASISTENTES: Thalía Iglesias, Leticia Mendoza
biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
PRODUCCIÓN: BioGraphica DISEÑO: Tools Soluciones Gráficas
TIPOGRAFÍA Y FORMACIÓN: Socorro Gutiérrez CUIDADO DE LA EDICIÓN: Antonio Bolívar
IMPRESIÓN: Offset Rebosán, S.A. de C.V.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan, 14010 México, D.F.
Tel. 5528-9100, fax 5528-9131, www.conabio.gob.mx